



Niet-destructief onderzoek diameter en positie wapening

Onderzoek naar de betrouwbaarheid van resultaten
niet-destructief onderzoek voor het bepalen van de
wapeningsconfiguratie in te hergebruiken betonelementen

1

Om bestaande betonelementen succesvol te kunnen hergebruiken, is betrouwbare informatie nodig over betondekking en positie en diameter van de wapening. In het kader van het internationale project ReCreate is onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van niet-destructieve methoden om deze gegevens vast te stellen. Zonder constructieve kennis en lokaal destructief onderzoek blijkt het niet-destructieve onderzoek onvoldoende betrouwbaar.

Steeds vaker wordt binnen bouwprojecten gestreefd naar de toepassing van zogenoemde donorelementen.

Dit zijn bestaande constructieve elementen die worden ingezet voor nieuwe constructies. Hiermee wordt gebruik van nieuwe elementen beperkt en daarmee de milieubelasting in de bouw verlaagd.

Vooralsnog gaat toepassing van donorelementen gepaard met veel uitdagingen, met als gevolg dat gedurende het ontwerpproces vaak alsnog wordt teruggegrepen op toepassing van nieuwe elementen. Eén van de uitdagingen is het aantonen van de constructieve veiligheid van de bestaande betonelementen in de nieuwe constructie. Hierbij is het van belang de wapeningsconfiguratie in kaart te brengen.

In het afstudeeronderzoek lag de nadruk op het bepalen van de betondekking, diameter van de wapening en de positie van de wapening. Uitgangspunt waren twee niet-destructieve methoden, de dekkingsmeter (foto 2) en de GPR (zie kader 'Meetapparatuur'). Beide methoden worden in de praktijk regelmatig gebruikt.

Opbouw van het onderzoek

Het onderzoek is opgedeeld in twee fasen. In fase 1 is de betrouwbaarheid bepaald van de niet-destructieve testmethoden, waarbij geen informatie over de aanwezige wapeningsconfiguratie bekend was.

auteurs



**IR. JILKE
DUNKERVOORT**

Constructeur
IMd Raadgevende
Ingenieurs



IR. PIM PETERS RO

Partner / Raadgevend
Ingenieur
IMd Raadgevende
Ingenieurs



**PROF. IR. SIMON
WIJTE**

TU Eindhoven /
Adviesbureau Hageman

In fase 2 is op basis van de resultaten uit fase 1 bepaald hoe de betrouwbaarheid kan worden verhoogd. Uit de conclusies is een toepasbare procedure afgeleid, op basis waarvan de wapeningsconfiguratie in het beschouwde element op een zo betrouwbaar mogelijke manier kan worden bepaald.

Uitvoeren niet-destructief onderzoek (fase 1)

Vijf partijen die regelmatig dit type onderzoek uitvoeren, kregen de opdracht verschillende elementen te onderzoeken (Concretix, Kwant Beton, SGS Intron, Nebest en Heijmans). Het ging om betonnen I-liggers uit een gesloopt paviljoen, dat functioneerde als tijdelijk gebouw op de TU/e-campus (foto 3), kolommen ter plaatse van de entree van de Bunkertoren in Eindhoven (gevolgklasse CC3) (foto 4) en dragende gevelelementen die door ReCreate-partner Lagemaat zijn gedemonteerd uit het gebouw Prinsenhof in Arnhem (fig. 5, foto 6).

De vijf partijen hebben de betondekking, de posities van de staven en de diameter van de staven op eigen wijze en onafhankelijk van elkaar bepaald, met niet-destructief onderzoek (NDO). De partijen die de testen uitvoerden hadden geen enkele informatie, voor de onderzoekers was de aanwezige wapeningsconfiguratie echter wel bekend. Dit door toezicht tijdens de testen, dan wel op basis van tekeningen in combinatie met destructief onderzoek na afloop van de →

AFSTUDEERONDERZOEK

Dit artikel is gebaseerd op de Master Thesis *'The reliability of non-destructive measurement methods used for measuring the rebar configuration applied in existing concrete elements and the improvement of these measurements to enhance the reliability'* dat Jilke Donkervoort schreef voor haar masterstudie aan de TU Eindhoven, faculteit Bouwkunde. Het onderzoek was onderdeel van het internationale project ReCreate [1]. Jilke Donkervoort werd voor haar onderzoek begeleid door prof.ir. Simon Wijte, dr.ir. Rob Wolfs, ir. Ben Matthews (alledrie TU/e), ir. Marcel Vullings (TNO), ir. Pim Peters en ir. Marijn Landman (beiden IMd Raadgevende Ingenieurs).



metingen door middel van waterstralen (hydromolition/waterjetting, foto 7). Vervolgens zijn de resultaten met elkaar vergeleken.

Resultaten niet-destructief onderzoek

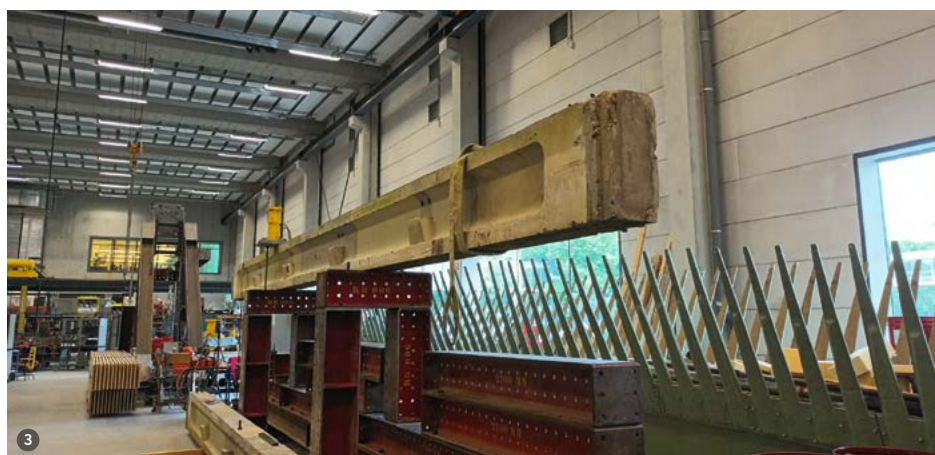
Uit de niet-destructieve testen, waarbij de partijen over geen enkele informatie van het element beschikten, is een aantal interessante resultaten naar voren gekomen. Eén daarvan is dat voldoende expertise bij het gebruik van de meetapparatuur van belang is, zowel tijdens het uitvoeren van de scans als het verwerken van de resultaten achteraf. Het begrijpen van de gebruikte programma's en apparatuur vereist ervaring en kennis. In dit artikel wordt hier verder niet diep op ingegaan; het is in de master thesis toegelicht [2].

Uit het onderzoek blijkt dat de resultaten met betrekking tot het detecteren van het aantal en de posities van de staven betrouwbaar zijn wanneer het betonoppervlak groot en vlak is. De betrouwbaarheid neemt af ter plaatse van de randen van het element en wanneer het oppervlak oneffen is. Er zijn nog meer aspecten die de betrouwbaarheid verminderen, die zijn in de master thesis [2] beschreven.

Ten aanzien van het bepalen van de staafdiameter, is het meest zorgwekkende resultaat uit de niet-destructieve metingen dat die bepaling in alle gevallen zeer onbetrouwbaar is. Het achterhalen van de toegepaste diameter is echter essentieel. Anders is het niet mogelijk de constructieve capaciteit bij hergebruik met voldoende betrouwbaarheid vast te stellen.

Uit de resultaten blijkt dat het invoeren van een verwachte diameter die in de buurt komt van de daadwerkelijke diameter, significante invloed heeft op de betrouwbaarheid. Een juiste inschatting van de diameter kan een positief effect hebben op de betrouwbaarheid van de metingen. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door een constructeur op voorhand het betreffende element en de belasting te laten analyseren en op basis daarvan een inschatting te maken van de toegepaste wapening.

In het onderzoek is ervan uitgegaan dat geen enkele informatie beschikbaar is van het element.



De resultaten met betrekking tot het aantal en de posities van de staven zijn betrouwbaar wanneer het betonoppervlak groot en vlak is



Een grove inschatting van de wapening met voldoende constructieve kennis is echter een must.

Zo is met de niet-destructieve testen in de kolom van de Bunkertoren, waarop een gebouw van circa 100 m hoog afdraagt, wapening Ø8 gemeten. Met enige constructieve kennis was duidelijk geweest dat dat niet logisch was.

Verhogen van de betrouwbaarheid (fase 2)

De bevindingen uit fase 1 zijn uitsluitend gebaseerd op niet-destructief onderzoek. Uit de resultaten blijkt dat het niet mogelijk is om met voldoende betrouwbaarheid de diameter uitsluitend op basis van NDO vast te stellen. Om de betrouwbaarheid te vergroten, is in fase 2 onderzocht in hoeverre die kan worden verbeterd met lokaal destructief onderzoek (LDO), waarbij de wapening op specifieke locaties wordt blootgelegd. Daarbij lag de nadruk vooral op het vaststellen van de diameter van de wapening.

Iedere partij is gevraagd locaties aan te wijzen waar men de diameter zou willen weten, met als doel de betrouwbaarheid van de gerapporteerde resultaten te verhogen. Hiervoor is er eerst 'fictief' destructief onderzoek uitgevoerd, waarbij de partij was

uitgenodigd om aan te geven op welke positie hij/zij de wapening wilde weten. Aan de hand van de bij de onderzoekers bekende informatie, is de diameter op de aangewezen positie aan de metende partijen doorgegeven, die dat in de resultaten hebben verwerkt.

De combinatie van NDO met LDO blijkt de betrouwbaarheid van het bepalen van de diameter aanzienlijk te verhogen ten opzichte van uitsluitend NDO. De betrouwbaarheid wordt echter door meerdere factoren beïnvloed. Het bepalen van de locaties voor lokaal destructief onderzoek is cruciaal. Het is niet aan te raden om bij het kiezen van die locaties uitsluitend op NDO-resultaten te vertrouwen. Enkele resultaten geven zelfs een verslechterde betrouwbaarheid na het uitvoeren van LDO. In een aantal gevallen werd er namelijk vanuit gegaan dat de diameter van de wapening die was blootgelegd bij LDO ook voor andere posities in het element zou gelden, terwijl deze juist wel correct waren ingemeten tijdens NDO.

Een mogelijke oplossing is om niet alleen op NDO-resultaten af te gaan, maar ook gebruik te maken van constructieve kennis bij het bepalen van de locaties voor destructief onderzoek. Door inzicht te krijgen in het constructieve gedrag van het element, kan een inschatting worden gemaakt van de toegepaste wapening en kunnen essentiële posities voor het uitvoeren van destructieve tests beter worden bepaald.

Het combineren van NDO-resultaten met een analyse door een constructeur kan leiden tot een schets van het element waarin verwachtingen over de wapeningsconfiguratie en -diameters worden weergegeven. Een ervaren constructeur kan vervolgens de posities bepalen voor gerichte destructieve tests. Deze aanpak ondersteunt uiteindelijk het betrouwbaar hergebruiken van het element in praktische toepassingen.

Procedure

Op basis van de resultaten, bevindingen en conclusies van dit onderzoek is een procedure omschreven waarin de stappen worden uiteengezet om de betondekking, positie en diameter van de toegepaste wapening in →

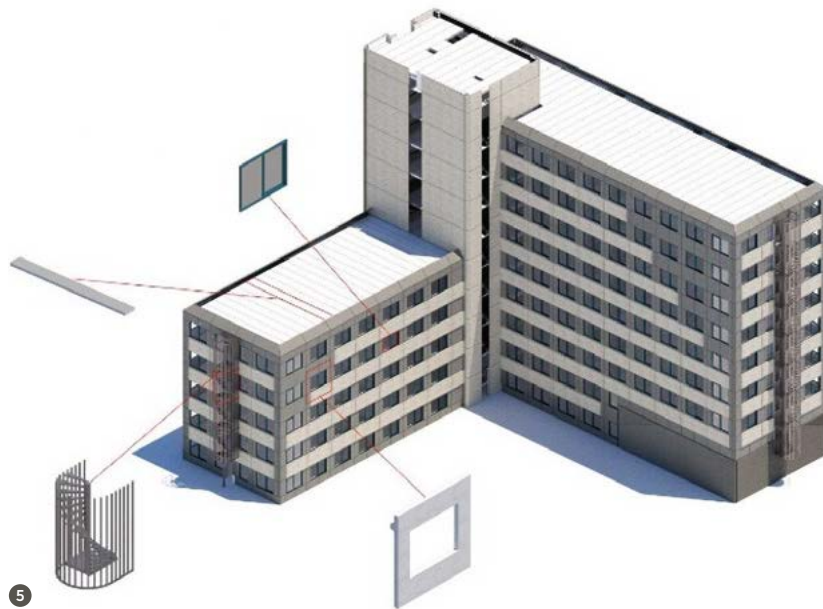
RECREATE

Het afstudeeronderzoek was onderdeel van het project ReCreate [1]. ReCreate is een internationaal project waarin onderzoek wordt gedaan en kennis wordt uitgewisseld over het hergebruik van prefab-betonconstructies. In Nederland zijn bij dit project aangesloten: TU Eindhoven, TNO, IMd Raadgevende Ingenieurs, VBI en demontagebedrijf Lagemaat Circulair.

Het bepalen van de staafdiameter met niet-destructieve metingen is in alle gevallen zeer onbetrouwbaar

MEETAPPARATUUR

Een *dekkingsmeter* werkt op basis van elektromagnetische inductie. Met een elektrische spoel wordt een magnetisch veld gegenereerd en wanneer de spoel over een wapeningsstaaf beweegt, wordt het magnetische veld vervormd door de ijzermassa van de wapening. Aan de eigenschappen van dit signaal kunnen gegevens over dekking, positie en diameter van de wapening worden ontleend. *GPR (Ground Penetrating Radar)* werkt met hoogfrequente radargolven. Hij zendt elektromagnetische golven uit die terugkaatsen op grenzen tussen verschillende materialen. Hiermee kunnen ook objecten worden gevonden niet van metaal zijn. Hoewel deze techniek tot op heden meer wordt toegepast in de geotechniek, kun je ook hiermee de posities van wapening meten.



een betonnen element op een betrouwbare manier vast te stellen. Dit maakt de resultaten van de daaropvolgende constructieve berekeningen betrouwbaarder. De procedure draagt bij aan het aantrekkelijker maken van gewapend betonnen elementen voor hergebruik in de praktijk.

De procedure fungeert als een opstap die in de toekomst verder ksn worden verfijnd en aangescherpt op basis van nieuwe inzichten. Op die manier kan de betrouwbaarheid van het bepalen van de toegepaste wapening verder wordt vergroot. De bedoeling is dat de procedure geschikt is voor ieder project met hergebruikt beton.

Stappen De eerste stap in de procedure bestaat uit het inschakelen van een ervaren constructeur om het betreffende element te beoordelen op basis van de constructieve werking. Deze beoordeling resulteert in een schets met het verwachte wapeningpatroon. Vervolgens wordt er niet-destructief onderzoek uitgevoerd om de juistheid van deze schets te verifiëren. Indien nodig wordt de schets aangepast en verder uitgewerkt, met aandacht voor het aantal staven, de onderlinge afstand, de betondekking en de geschatte diameter van de wapening.

De volgende stap is het bepalen van locaties voor destructief onderzoek, waarmee de wapening op een aantal posities wordt

Tabel 1 Stappenplan

1	Opstellen van een schets van de verwachte wapening in het element, gebaseerd op constructieve kennis van een ervaren constructeur.
2	Uitvoeren van een eerste verkenning met NDO via Ground Penetrating Radar (GPR) om de positie van de wapeningsstaven te bepalen. - Als de resultaten niet overeenkomen met de schets, keer dan terug naar stap 1.
3	Gebruik van een dekkingsmeter (covermeter) om de betondekking en de diameter van de wapening in te schatten voor staven die dicht bij het oppervlak liggen, waar metingen van belang zijn.
4	Aanpassen van de schets uit stap 1, waar nodig, op basis van de gegevens uit stappen 2 en 3.
5	Beoordelen of aanvullend NDO nodig is. - Indien ja: voer het aanvullende onderzoek uit en herhaal stap 4. - Indien nee: ga door naar stap 6.
6	De constructeur bepaalt, op basis van de geüpdatete schets (uit stap 4), op welke posities LDO noodzakelijk is.
7	Uitvoeren van LDO op de door de constructeur aangegeven posities.
8	Aanpassen van de schets, waar nodig, op basis van de gegevens verkregen uit het destructieve onderzoek (stap 7).
9	Uitwerken van de schets tot een definitieve wapeningstekening, die kan worden gebruikt om de constructieve capaciteit van het element te bepalen ten behoeve van hergebruik.

blootgelegd en worden de diameters van de wapening gemeten. Ook deze analyse wordt uitgevoerd door een constructeur.

Op basis van de gegevens uit het NDO en het destructief onderzoek kan het volledige toegepaste wapeningspatroon van het element worden vastgesteld. De procedure is nader toegelicht in tabel 1.

Toepassing onderzoek in de praktijk

Het onderzoek is zoals gezegd uitgevoerd binnen het internationale project ReCreate, waarbij zowel IMd Raadgevende Ingenieurs als de TU Eindhoven betrokken zijn. Het doel van dit project is om aan de hand van een pilotproject inzichten op te doen in het hergebruik van gedemonteerde gewapende constructieve betonelementen. Voor Neder-

land was dat pilotproject Prinsenhof in Arnhem. Opdrachtgever Lagemaat heeft de elementen enige tijd geleden gedemonteerd en voorbereidingen voor het hergebruik van deze elementen in een nieuw gebouw (Circulair Centrum Heerde) zijn in volle gang. Het afstudeeronderzoek levert hierin een belangrijke bijdrage.

Op basis van de benoemde procedure is voor het pilotproject een specifiek protocol opgesteld. Daarin worden stapsgewijs de materiaalonderzoeken uiteengezet, waarin de procedure voor het bepalen van de wapeningsconfiguratie een belangrijke bijdrage levert.

In een vervolgartikel zal worden ingegaan op het proces en de ervaringen die zijn opgedaan gedurende de toepassing van de bestaande elementen in de praktijk. ●

Een combinatie met lokaal destructief onderzoek blijkt de betrouwbaarheid van het bepalen van de diameter aanzienlijk te verhogen



LITERATUUR

- 1 Wijte, S., Vullings, M., Lambrechts, T., Onderzoek hergebruik prefab beton. Cement 2023/9.
- 2 Donkervoort, J., Wijte, S., Peters, P., Vullings, M., Reuse of concrete elements - The reliability of non-destructive measurement methods used for measuring the rebar configuration applied in existing concrete elements and the improvement of these measurements to enhance the reliability. Master thesis 2024.